

中口径P&PCセグメント工法に適したPCグラウト充てん工法に関する実験的検討

鹿島建設株式会社 正会員 ○新井 崇裕
 鹿島建設株式会社 正会員 柳井 修司
 鹿島建設株式会社 滝本 邦彦
 鹿島建設株式会社 須田 悦弘

1. はじめに

P&PCセグメント工法は、コンクリート製のセグメントを1リング組立てたあと、シース内にPC鋼より線を挿入し、緊張・定着することによって、トンネル円周方向にプレストレスを導入するシールドトンネル工法である(図-1)。シースとPC鋼より線の間には、PC鋼より線の防食の目的でPCグラウトを充てんするが、このPCグラウトの施工の良否が構造物の耐用年数に及ぼす影響は大きく、グラウト材の選定や施工計画(充てん工法)に対する十分な検討が必要である。これまでに、セグメント内径3,000mmクラスの小口径を対象とした同工法においては、注入実験が行われ、照査された充てん工法に準じて既に4つのシールドトンネルが施工されている。しかしながら、トンネル直径が大きくなった場合には、PC鋼より線が太径となり、これに伴って、空隙率(シース断面積とグラウト充てん断面積の比率)が大きくなり、小口径の場合とはグラウトの充てん状況が異なってくるものと推察される。今回、小口径の範囲を超えたセグメント内径5,000mm程度のシールドトンネルを想定して、PCグラウトの確実な充てんを目的にグラウト材および施工方法に関する注入実験を実施した。本報告では、P&PCセグメント工法におけるPCグラウトの特徴、ならびに、注入実験の内容および充てん状況の評価について述べる。

2. 想定構造物

想定した実構造物は、P&PCセグメント工法で構築される内径5,000mmのシールドトンネルであり、PC鋼材としてアンボンドPC鋼より線1S17.8(外径21.8mm)を用い、そのシースには内径36mmのポリエチレンシースを用いるものとした。なお、シースの断面中心位置での曲げ半径は2,600mm(直径5,200mm)とした。

3. P&PCセグメント工法におけるPCグラウトの特徴

3.1 特徴と課題

P&PCセグメント工法におけるPCグラウトは、以下に示す二つの大きな特徴がある。

- (1) 一方向からPCグラウトを注入しようとした場合、最大90°の下り勾配となる。
- (2) ローリング修正・蛇行修正等の対応を行う場合、リング全体を回転することになり、頂部の位置が定まらない。

(1)については、グラウト材が先流れを起こし、残留空気を内在させてPCグラウトの要求性能を満足で

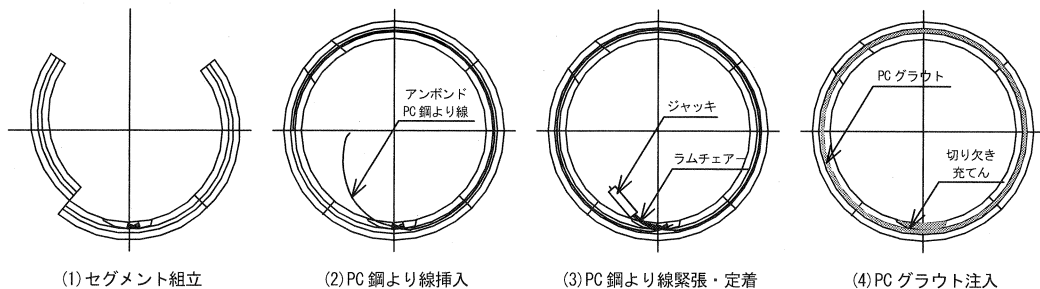


図-1 P&PCセグメント工法

きない可能性が高くなる¹⁾。また、(2)については、頂部近傍に排気口を設けようとした場合、一箇所配置すればよい排気口をセグメントピース毎に設置する必要がある、かつ、注入時には排気用の足場の設置や作業員の配置が必要となり、煩雑かつ不経済である、という課題がある。

3. 2 設計思想

3. 1で示した課題に対して、適切なグラウト材を用いれば先流れを防止して残留空気の内在を阻止できるか(この場合、排気口を設置しなくても済む)、それが困難な場合は、排気口を設置することにより残留空気を排出できるか、という設計思想で検討を行うこととした。先流れ防止の可能性として高チクソトロピー性PCグラウト(以下、高チクソ型と称す)²⁾を検討対象とし、排気口を設ける場合は、残留空気を積極的に頂部に収集することを目的として低粘性型PCグラウト(以下、低粘性型と称す)を検討対象とした。ここで、高チクソ型とは、せん断速度を増加させると見かけの粘性が低下して流動性が増すというレオロジー特性を有するグラウト材である。

4. 注入実験

4. 1 実験目的

3. 2で述べた設計思想について検討することを目的に、実物大の実験装置を製作してPCグラウト注入実験を行った。

4. 2 実験装置

実験装置は、図-2に示すように鳥居枠足場を組立て、シースの断面中心位置での曲げ半径が2,600mm(直径5,200mm)となるように、円形に加工した鉄筋(D16)にシースを固定することにより構築した。シースは、充てん状況が目視で確認できるように透明とし、一部、実構造物に用いるポリエチレンシースとした。シース内には、アンボンドPC鋼より線を模したプラスチックチューブを配置した。実験で使用したシース、PC鋼より線の仕様と空隙率を実構造物で想定したものと比較して表-1に示す。また、シースの接続部には、緊張端と固定端が一体となった鑄鉄製一体型定着体(以下、Xアンカーと称す)を設置し、その端部に注入口および排出口を設置した(写真-1)。

4. 3 実験ケース

実験ケースを表-2に示す。実験ケースは、グラウト材の種類、排気口の有無、注入速度、再注入の有無およびシースの種類を実験因子とした全8ケースである。

ケースT-1~4は高チクソ型を対象としたものであり、T-1~3とT-4は注入速度の大小(せん断速度の大小)が先流れに及ぼす影響を検討することを意図したものである。このうち、T-1に対して、T-2はシースの影響を、T-3は再注入による残留空気の排出効果を検討するものとして設定した。

また、ケースG-1~4は低粘性型を対象としたものであり、

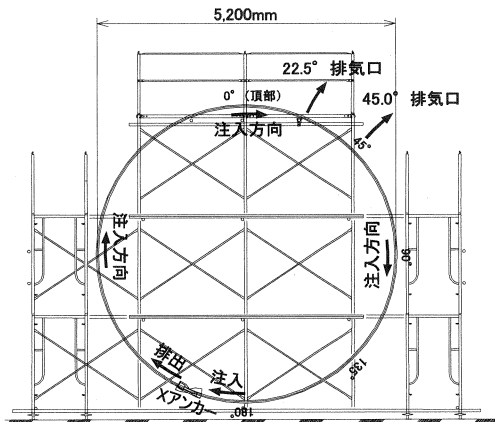


図-2 実験装置

表-1 シース、PC鋼より線の仕様と空隙率

項目	単位	実構造物		実験	
		ポリエチレン	ポリエチレン	透明	
シース	仕様	-	ポリエチレン	ポリエチレン	透明
	内径 mm	36.0	36.0	36.0	38.1
	断面積 mm ²	1,018	1,018	1,140	
PC鋼より線	仕様	-	1S17.8	プラスチックチューブ	
	外径 mm	21.8	21.0	21.0	
	断面積 mm ²	373	346	346	
充てん断面積	mm ²	645	672	794	
空隙率	%	63.3	66.0	69.6	

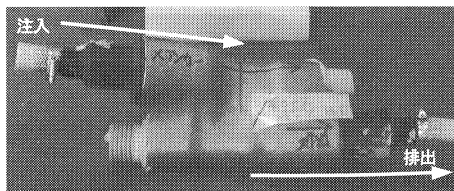


写真-1 一体型定着体(Xアンカー)

表-2 実験ケース

実験ケース	グラウト材の種類	排気口の有無	注入速度	再注入の有無	シースの種類
T-1	高チクソ型	なし	15%/分	なし	透明
T-2				2%/分	実物
T-3				なし	
T-4				1%/分	
G-1	低粘性型	あり22.5°	15%/分	なし	透明
G-2				2%/分	
G-3				から増加	
G-4				あり45.0°	

G-1, 2 と G-3, 4 は排気口の有無により残留空気の排出の可否について検討することを意図したものである。排気口については、G-3 は頂部から 22.5° , G-4 は頂部から 45.0° の位置に設け、残留空気を排出可能な排気口の設置範囲を検討するものとして 2 水準設定した。

なお、再注入を行うケースとして、T-3 は注入速度を 2 ㎥/分で一定とし、G-2~4 は注入速度を 2 ㎥/分から徐々に大きくしていき、それぞれ残留空気の排出が確認されるまで実施することとした。

4. 4 グラウト材

実験に供したグラウト材の使用材料、配合を表-3, 4 にそれぞれ示す。高チクソ型は、プレミックスタイプのものを用い、試験練りによってチクソトロピー性を評価して配合を決定した。

4. 5 練混ぜおよび注入方法

練混ぜは、高チクソ型については、水、プレミックス粉体の順番で投入し、5 分間攪拌した。低粘性型については、水に混和剤を投入し 1 分間攪拌した後、セメントを投入し、3 分間攪拌した。練混ぜには、高速グラウトミキサ (容量: 50 ㎥, 回転数: 1,000rpm) を用いた。

注入は、全てのケースで一方向から行い、このうち排気口のある G-3, 4 は、初期注入時には排気口を開けておき、排気口からグラウト材の排出が確認されてからこれを閉じた。また、再注入時には排出口を閉じておき、排気口を開いてグラウト材の排出を行った。注入には、裏込め注入などに使用されるモノポンプ (吐出量: 40 ㎥/分, 吐出圧: 1.6MPa) を用いた。なお、注入口近傍に流量計および圧力計を設置して、注入速度を調整するとともに、注入圧の測定を行った。

4. 6 実験結果および評価

(1) 品質管理試験結果

グラウト材の品質管理試験結果を表-5 に、φ50×h50mm フローの試験結果を写真-2 にそれぞれ示す。高チクソ型は、JP 漏斗試験では最後まで流下せずに閉塞した。また、フロー試験では、写真-2 に示すように低粘性型に比べて広がり非常に小さく、初期の形状を維持するような性状を示した。その他、ブリーディングや体積変化は 0% という結果であった。

(2) 充てん状況の評価

注入実験の結果を表-6 に示す。目視による注入状況の確認の結果、高チクソ型では、ケース T-1, 3, 4 の全てのケースにおいて先流れは確認されず、注入速度の大小による顕著な差異は見られなかった。一方、低粘性型では、G-1~4 の全てのケースで 22.5° のあたりから先流れが確認された。それぞれの代表的なケースとして、T-1, G-1 の 90° 付近における流動先端の状況を写真-3 に示す (いずれも注入速度 15 ㎥/分)。

再注入を行ったケースとして、T-3 は 2 ㎥/分で 1 周分、G-2 は 6 ㎥/分で 5 周分の再注入をそれぞれ行ったが、気泡の排出は確認できなかった。また、排気口を設置して再注入を行った G-3, 4 では、それぞれ排気口が 22.5° の位置では 6 ㎥/分、排気口が 45.0° の位置では 8 ㎥/分の再注入で排気口から大きな気泡が排出された。これらのことから、排気口を設置しない場合には、一度残留した空気を排出することが困難であること、頂部から 45.0° の範囲に排気口を設置すれば、再注入によってある程度の残留空気の排出が可能で

表-3 使用材料

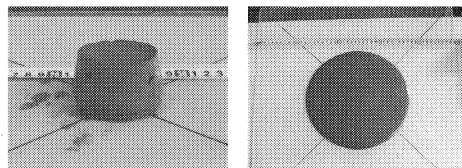
グラウト材の種類	材料	仕様
高チクソ型	水	上水道水(川越市)
	粉体	グラウト用プレミックス粉体
低粘性型	水	上水道水(川越市)
	セメント	高炉セメントB種
	混和剤	低粘性型グラウト用混和剤

表-4 配合

グラウト材の種類	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)		
		水	粉体	混和剤
高チクソ型	40.0	545	1445	
低粘性型	43.5	569	1309	13.09

表-5 品質管理試験結果

グラウト材の種類	JP 漏斗	JIS フロー	φ50×h50mm フロー	練上り温度
高チクソ型	—	116×114mm	63×61mm	18.8°C
低粘性型	12.7秒	238×237mm	134×132mm	18.8°C
グラウト材の種類	環境温度	JSCE ブリーディング	JSCE 体積変化	圧縮強度 (材齢7日)
高チクソ型	13.0°C	0%	0%	43.7N/mm ²
低粘性型	14.4°C	0%	0%	53.4N/mm ²



(a) 高チクソ型 (b) 低粘性型
写真-2 φ50×h50mm フロー試験結果

表-6 実験結果

実験ケース	グラウト材の種類	実験結果		評価
		目視	シーす切断確認	
T-1	高チクソ型	先流れは発生せず。	充てん状況は良好。	○
T-2		透明シーすではないため、未確認。	充てん状況は良好。リブの頂上に空気が残留。	○
T-3		先流れは発生せず。	充てん状況は良好。	○
T-4		先流れは発生せず。	充てん状況は良好。	○
G-1	低粘性型	先流れが発生。	残留空気あり。22.5° の位置が顕著。	×
G-2		先流れが発生。	残留空気あり。22.5° の位置が顕著。	×
G-3		先流れが発生。6%/分の再注入で大きな気泡を排出。	充てん状況は良好。	○
G-4		先流れが発生。8%/分の再注入で大きな気泡を排出。	充てん状況は良好。	△

あることが分かった。

グラウト材硬化後に、シーすを半割りにして内部の充てん状況を確認したところ、高チクソ型は、全てのケースにおいて全ての位置で良好な充てん性が確認された。また、実構造物を想定したポリエチレンシーすを用いたT-2であっても、写真-4(b)に示すようにリブのごく一部に残留空気が介在するのみであり、耐久性上問題となる程度の残留空気¹⁾ではなかった。一方、低粘性型は、排気口を設置しなかったG-1,2では、写真-4(c)に示すような有害と判断される残留空気¹⁾が介在し、その位置は22.5°の近傍が顕著であった。排気口を設置して再注入による残留空気の排出を行ったG-3,4では、良好な充てん性が確認された。

(3) 注入圧の評価

高チクソ型の注入圧は、注入速度 15%/分で注入したT-1~3は0.70~0.82MPa、1%/分で注入したT-4は0.90MPaであり、注入速度が大きい方が注入圧は小さくなる結果となった。この結果から、当材料は、注入作業においても良好なチクソトロピー性を発揮できるものと判断された。また、低粘性型の注入圧は、0.85~1.00MPaの範囲であり、高チクソ型の注入圧よりもやや大きい値であった。

5. おわりに

内径5,000mm程度の中口径P&PCセグメント工法に適したPCグラウトのグラウト材および施工方法(充てん工法)を検討する目的で実施した実物大の注入実験から以下の知見が得られた。

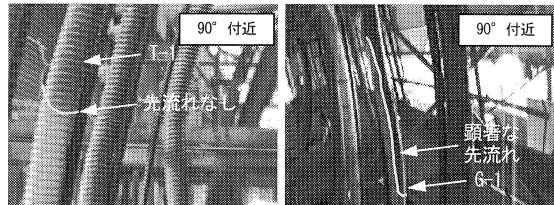
- (1) 高チクソトロピー性PCグラウトは、先流れが発生せず一方向からの注入のみによって良好な充てん性が得られる。その際、注入速度の影響は小さい。
- (2) 低粘性型PCグラウトは、頂部から22.5°~45.0°の範囲で下り側に排気口を設け、再注入を行えば良好な充てん性を確保できる。

謝辞

本実験の実施にあたり、(株)ダイ・シイからグラウト用プレミックス粉体の供与、ならびに、技術指導など、多大なるご協力を賜りました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

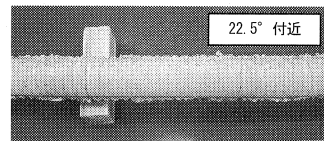
参考文献

- 1) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会:PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル2004
- 2) 蝦名, 二戸, 丸岡, 藤原:高チクソトロピー性グラウトの研究開発, プレストレストコンクリート, Vol. 47, No. 3, pp. 64-70, 2005. 5

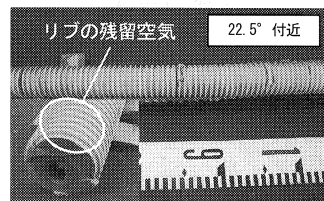


(a)高チクソ型(T-1) (b)低粘性型(G-1)

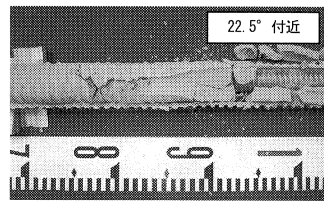
写真-3 流動先端の状況



(a)高チクソ型(T-1)



(b)高チクソ型(T-2)



(c)低粘性型(G-1)

写真-4 充てん状況